

集水區農業非點源污染評估系統之建立-以霧社水庫為例

陳貞樺⁽¹⁾ 劉昌文⁽²⁾ 林家榮⁽³⁾ 林昭遠⁽⁴⁾

摘要

本研究利用集水區資訊系統(WinGrid)、地理資訊系統(GIS)及農業非點源污染模式模擬實施最佳管理作業對非點源污染之改善成效。集水區分別進行陡峭區農地回收為林地及水系周邊配置緩衝帶之最佳管理作業配置。結果顯示水系周邊配置緩衝帶之單位面積之改善效益優於陡峭區農地回收；陡峭區農地回收對於泥砂產量、泥砂總氮及泥砂總磷的改善效率較為明顯；水系周邊配置緩衝帶之模擬結果對於泥砂產量的衰減較為明顯，而洪峰量只有略微的降低，以本研究及案例足以說明水系周邊配置緩衝帶對於泥砂產量的改善具有直接的影響。

(**關鍵字：**農業非點源污染模式、集水區資訊系統、地理資訊系統、最佳管理作業)

Assessment System for Agricultural Non-point Source Pollution in Wushe Reservoir Watershed

Chen-Hua Chen⁽¹⁾, Chung-Wen Liu⁽²⁾, Chia-Rung Lin⁽²⁾

Graduate Student, Department of Soil and Water Conservation,
National Chung-Hsing University, Taichung, Taiwan 402, R.O.C.

Chao-Yuan Lin⁽³⁾

Professor, Department of Soil and Water Conservation,
National Chung-Hsing University, Taichung, Taiwan 402, R.O.C.

ABSTRACT

This study investigated best management practices (BMPs) of riparian vegetated buffer strips and farmland retrieved for reforestation at steep area. Two treatments were used to simulate by WinGrid, Geographic Information System (GIS), and AGNPS model. The results show that the improvement efficiency per unit area of the riparian vegetated buffer strips is superior to that of the other. It is apparent that the improvement efficiency of sediment yield, total nitrogen within sediment and total phosphorus within sediment by the farmland retrieved for reforestation at steep area is much better than those by the riparian vegetated buffer strips. riparian vegetated buffer strip establishment, the results show sediment yield is reduced after the

(1)國立中興大學水土保持學系研究生

(2)國立中興大學水土保持學系研究生

(3)國立中興大學水土保持學系教授

current one, and a diminution in peak flow at outlet is less significant. Riparian vegetated buffer strips are benefit to the improvement efficiency of sediment yield.

(**Keywords** : Agricultural Non-Point Source Pollution, WinGrid, Geographic Information System, Best Management Practice)

前言

台灣由於降雨時空分配不均、山坡地陡峻及土壤淺薄等天然因素，若坡地不當開發利用，易造成河川、水庫水質劣化與泥砂淤積，非但對自然環境破壞，亦降低生活環境品質，因此落實山坡地保育工作乃屬當務之急。其中，坡地農業活動所產生之泥砂、營養鹽、與殘留農藥等非點源污染物已被證明是引起水質劣化主要原因之一（吳輝龍，1991）。

霧社水庫為濁水溪上游源頭，主要功能為發電與蓄水，提供下游日月潭水庫聯合運轉之水量來源，在發電或是觀光都有相當的經濟效益；庫區周邊因土壤肥沃，氣候舒適，再加上對外交通便利，觀光潛力雄厚，所以近年來紛紛種植果樹、高山茶、高山蔬菜等經濟作物，且觀光旅遊活動頻繁，以致水庫水質已有逐漸惡化趨勢，所以有效的控制河川水量與汙染水質進入水庫，對於保護集水區生態及提供下游良好飲用水品質，為當前重要之課題（林雍富，2002）。當地表沖蝕之污染物進入水體，將造成濁度增加，水庫淤積及優養化等問題；如何降低農業非點源污染、改善集水區水資源，環境敏感區位土地利用之管制是極為重要的。

本研究以霧社水庫集水區為範圍，利用數值高程模型（Digital Elevation Model, DEM）、配合遙感探測（Remote Sensing, RS）

與地理資訊系統（Geographic Information Systems, GIS）等相關技術，以農業非點源污染模式推估現況，並假定以水系周邊配置緩衝帶及農地陡峭區位回收為林地兩種最佳管理作業，探討其土壤流失量及營養鹽的傳輸情形，並評估此兩種作業之效益，俾供水庫集水區土地管理與經營之參考。

系統架構

本研究採用 AGNPS 模式及 WinGrid 作為非點源污染評估之工具。

一、AGNPS 分析模組

AGNPS 為 1987 年由美國明尼蘇達州的污染控制局（MPCA）、水土保持局及美國農部（USDA）土壤保育中心（SCS），為分析集水區的水質和逕流而發展出來（Young et al., 1989）。AGNPS 模式是分布型參數模式，基本由水文、沖蝕、泥砂和營養物質運送三部分構成。

水文模式主要利用美國水土保持局（Soil Conservation Service, SCS）發展的地表逕流-逕流曲線（Curve Number, CN）法計算逕流量及洪峰流量。沖蝕模式利用修正的通用土壤流失公式（USLE）加入坡型修正因子（SSF）估算土壤流失量。營養物質運送則是利用 CREAM 模式得出氮（N）、磷（P）及化學需氧量（COD）的模擬結果。彙整 AGNPS 模式使用的原理，如表 1 所示：

集水區農業非點源污染評估系統之建立-以霧社水庫為例：陳貞樺、劉昌文、林家榮、林昭遠

表 1. AGNPS 模式原理

Table 1. The model concepts of AGNPS

AGNPS 演算方法	參考
地表逕流-逕流曲線法(CN)	USDA-SCS (1972)
尖峰流量	Smith <i>et al.</i> (1980)
逕流流速	Manning's equation (1889)
土壤流失-修正後 USLE	Wischmeier <i>et al.</i> (1978)
泥砂傳輸能力-溪流動力方程式	Bagnold (1966)
泥砂傳輸 - stationary 連續方程式	Foster <i>et al.</i> (1981)和 Lane (1982)
營養傳輸(N,P)	Frere <i>et al.</i> (1980)

資料來源：

<http://grunwald.ifas.ufl.edu/Projects/AGNP/S/agnps.htm>

AGNPS 之污染物傳輸模式理論如下：

(一) 土壤沖蝕部分

分別計算上游地表(Upland)單位面積沖蝕量、渠道(Channel)單位面積沖蝕量，並將沖蝕土壤分成五種顆粒大小等級(粘粒、粉粒、小團粒、大團粒、砂粒)。估測單場暴雨的土壤流失量係採用修正之通用土壤流失方

程式(Modified Universal Soil Loss Equation, MUSLE)：

$$E = EI \times K \times L \times S \times C \times P \times SSF$$

E：土壤沖蝕量(tons/acre)
EI：降雨能量強度(100-ft-ton in/acre hr)
K：土壤沖蝕性指數
(ton-acre hr/100-acre ft-ton in)
L：坡長因子
S：坡度因子
C：覆蓋因子
P：水土保持措施因子
SSF：坡型修正因子

SSF 之修正值如表 2 所示，凸坡易沖刷，凹坡易淤積，故乘上一修正值加以修正 (Wischmeier and Smith, 1978)。

表 2. 坡型修正因子(SSF)
Table 2. The slope shape factors.

坡 型	SSF
均 坡	1.00
凸 坡	1.30
凹 坡	0.88

(二) 泥砂運移部分

係針對單一網格做分析(如圖 1)，考慮由上游及四周流入之泥砂量，扣除網格內自 O 點至 X 點之泥砂沉積量，即為該網格之模擬泥砂輸出量。

泥砂運移量主要分成二部分進行估算，第一部分為上游之泥砂進入渠道，第二部分為河道中泥砂之輸送；並將之分為五級(粘粒、粉粒、砂粒、大團粒、小團粒)加以演算。

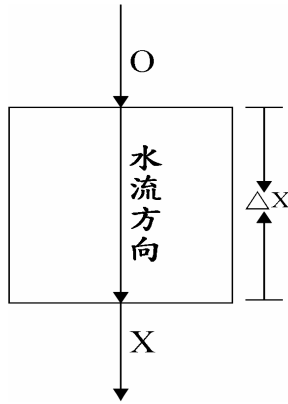


圖 1. 單一網格分析示意圖

Figure 1. Analysis for the cell with flow distance along the cell.

1. 泥砂輸出

模式中有關泥砂運移和沉積之方程式是採用 Foster et al.(1981)與 Lane(1982)之公式：

$$Q_s(X) = Q_s(O) + Q_{sl} \frac{\Delta X}{L_r} - \int_0^X D(X) W dx \quad (1)$$

$Q_s(X)$ ：X點泥砂之輸出量(lb/sec)

$Q_s(O)$ ：O點泥砂之輸入量(lb/sec)

Q_{sl} ：側流泥砂流入量(lb/sec)

ΔX ：上游至X點之距離(ft)

L_r ：側流之距離(ft)

$D(X)$ ：X點泥砂沉積率(lb/sec²-ft)

W ：渠道寬(ft)

2. 各顆粒大小之泥砂輸出

$$Q_{si}(X) = \left[\frac{2q(X)}{2q(X) + \Delta X V_{ssi}} \right] \times \left\{ \begin{aligned} &Q_{si}(O) + Q_{sl} - \frac{\bar{W} \times \Delta X}{2} \times \\ &\left[\frac{V_{ssi}}{q(O)} \times (q_{si}(O) - g_{si}(O)) - \frac{V_{ssi}}{q(X) \times g_{si}(X)} \right] \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

$Q_{si}(X)$ ：土粒流出率(lb/sec)

$q(X)$ ：流出單位寬度網格之流量 (ft³/sec-ft)

ΔX ：渠道長之改變(ft)

$Q_{si}(O)$ ：土粒流入率(lb/sec)

\bar{W} ：平均渠道寬(ft)

$q(O)$ ：流入單位寬度網格之流量 (ft³/sec-ft)

$q_{si}(O)$ ：單位寬度網格泥砂流入率 (lb/sec-ft)

$g_{si}(O)$ ：土粒輸入網格之能力(lb/sec-ft)

$g_{si}(X)$ ：土粒輸出網格之能力(lb/sec-ft)

Q_{sl} ：側流量流入速率(lb/sec)

V_{ssi} ：土粒沉降速度(ft/sec)

3. 洪峰流量

計算洪峰流量之公式係採用 Williams and Smith (1978)用於 CREAMS (Chemical, Runoff, and Erosion from Agricultural Management System)的公式：

$$Q_p = 8.48 A^{0.7} S_c^{0.159} RF^{(0.824 A^{0.0166})} (L_c^2 / (A \times 43560))^{-0.187} \quad (3)$$

Q_p ：洪峰流量(cfs)

A ：排水面積(acre)

S_c ：渠道坡度(ft/ft)

RF ：逕流體積(in)

L_c ：渠道長度(ft)

(三) 養分流失部份

採用 CREAM 模式對氮 (N)、磷 (P)、化學需氧量 (COD) 的運移進行推估，計算過程分為泥砂吸附部分和可溶性部分進行計算。

泥砂吸附部分採用單位的總泥砂量計算

$$Nut_{sed} = (Nut_f) Q_s(x) E_R$$

Nut_{sed} ：泥砂輸送的氮或磷

Q_s ：泥砂產量

E_R ：富集比，

$$E_R = 7.4 Q_s(x)^{-0.2} T_f$$

，其中 T_f 為土壤質地的校正係數。

可溶性營養鹽的估算考慮了降雨、施肥和淋溶對營養鹽的影響。逕流中可溶性營養

集水區農業非點源污染評估系統之建立-以霧社水庫為例：陳貞樺、劉昌文、林家榮、林昭遠

鹽由下式估算：

$$Nut_{sol} = C_{nut} Nut_{ext} Q$$

Nut_{sol} ：逕流中氮、磷的濃度

C_{nut} ：逕流流經的土壤表面氮、磷的平均濃度

Nut_{ext} ：氮、磷進入逕流的提取係數（extraction coefficient）

Q ：逕流總量

模式假設 COD 是可溶性的。對逕流中的 COD 根據計算逕流量和逕流中 COD 的平均濃度進行估算。模式假設 COD 不損失累積。

(四) AGNPS 模式參數輸入

1. 集水區參數

- (1) 集水區識別：集水區之識別名
- (2) 小區面積：每一網格之面積，本研究所用之網格配合 DEM 之網格大小為 40m×40m
- (3) 小區總數：為分析網格之總數
- (4) 降雨量：採用鄰近之經濟部水利署測站惠蓀（2）、翠峰、翠巒雨量站之資料，依甘保氏極端值分布，求出 10 年頻率之最大日雨量為 392.4 mm。
- (5) 暴雨能量強度：由 AGNPS 模式依據所輸入之降雨延時（24hr）與降雨型態自動計算而得。

2. 小區參數

- (1) 小區編號：每一網格之編號
- (2) 排水流向的小區編號：為各網格中逕流水排向之小區編號，集水區排水口所在之小區其排水流向編號必須比其它小區之編號要大。
- (3) 坡向：每一網格之坡向，由 WinGrid 之地形分析而得。
- (4) 逕流曲線值：推求直接逕流量所需之水

文參數，為土壤之水文特性及土地使用種類之組合（表 3～表 5）。

表 3. 水土保持局土壤質地分類

Table 3. The soil classification recommended by the Soil and Water Conservation Bureau

分類	土壤質地
0	粗砂土、砂土
1	細砂土、壤質砂土、壤質粗砂土
2	壤質細砂土、粗砂質壤土、砂質壤土、細砂質壤土
3	極細砂土、壤質極細砂土、極細砂質壤土
4	粉質壤土、粉土
5	壤土
6	砂質黏壤土
7	黏質壤土、粉質黏壤土
8	粉質黏土、砂質黏土
9	黏土

(5) 平均坡度：計算各網格之平均坡度(θ)，再以 Wischmeier and Smith (1978)所提出之坡度因子公式： $S=65.4\sin^2\theta+4.56\sin\theta+0.0654$ 求算而得。

表 4. 水土保持局土壤分類對應之 SCS 土壤分類

Table 4. The summary of soil classification recommended by the Soil and Water Conservation Bureau versus SCS soil classification

台灣水土保持局	SCS
0、1、2、3	A
4、5	B
6	C
7、8、9	D

表 5. 逕流曲線數

Table 5. The summary of Curve Number(CN) values for runoff simulation

土壤水文特性 土地使用	A	B	C	D
建 地	74	84	90	92
針 葉 林	25	55	70	77
地 表 水	94	93	95	96
旱 田	62	71	78	81
公園、墓地	39	61	74	80
保 安 林	25	55	70	77
荒 地	77	86	91	94
濕 地	92	93	94	95
闊 葉 林	36	60	73	79
水 田	70	79	84	88
果 園	45	66	77	83
其 他 林 地	38	62	74	80

註：土壤水文特性為土壤排水性及土壤質地之組合

資料來源：Dunne and Leopold, 1978

- (6) 坡型因子：有三種參數值，即凸型坡、均勻坡及凹型坡，本計劃所切取之網格面積不大，以均勻坡來計算。
- (7) 坡長因子(漫地流之流路長度)：由於受到自然或人為之地面窪蓄、入滲等作用以及山溝、道路排水側溝等之截流，地表漫地流之流長甚少超過 100m。本研究之網格大小為 40m×40m，若以地表水流向為指標，累計流長在兩個網格大小以下者可視為漫地流，以此來估算集

水區之坡長分佈。

- (8) 曼寧粗糙係數：曼寧公式之 n 值，係依植生密度及種類有所不同(表 6)。

表 6. 土地利用相關之參數參考表

Table 6. The summary of land use pattern and Manning's roughness coefficient

土地利用 種類	森 林	草 地	果 園	茶 園	檳 榔 園	裸 露 地	水 體	農 地	建 築 用 地
曼寧粗糙 係數 n	0.1	0.1	0.2	0.2	0.2	0.2	0.99	0.06	0.03

資料來源：夏禹九、陳萱蓉，2000

- (9) 土壤沖蝕性因子：為土壤內在特性所反應抗蝕能力之定量值，亦稱為土壤沖蝕率指數。採用萬鑫森、黃俊義(1981、1989)所調查之台灣坡地土壤沖蝕指數值，利用地理統計可求算台灣地區土壤沖蝕指數等值圖(圖 2)，本區之土壤沖蝕指數值以克利金法(Kriging)內插計算求得。
- (10) 地表植物覆蓋因子：利用植生指標之方法來考慮地表植物覆蓋因子，本計劃以遙測衛星影像之常態化差異植生指標(NDVI)推估地表植物覆蓋因子 NDVI 為一標準常態化之指標，其計算方法如下所示：

$$NDVI = \frac{(NIR - R_b)}{(NIR + R_b)}$$

式中，NIR 為近紅外光波段；Rb 為紅光波段

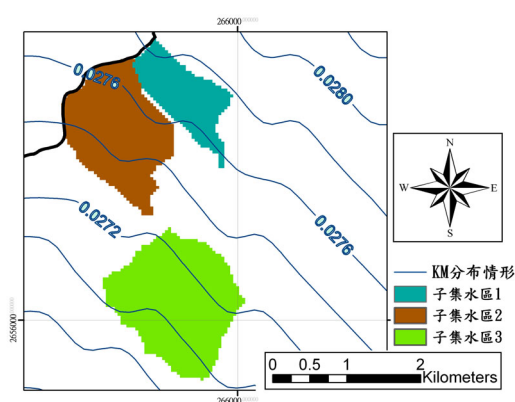


圖 2. 土壤沖蝕指數圖

Figure 2 . Soil erodibility of Wushe Reservoir Watershed

由於 NDVI 之值域介於-1 至 1 之間，將 NDVI 線性反向配置為地表植物覆蓋因子，其公式為 $C = (1 - NDVI) / 2$ 。

- (11) 水土保持措施因子：水土保持因子 P 值係指現有田間之耕作方式、措施或水土保持方法下與標準試區之土壤流失量之比值，本研究以最差之狀況 (P=1)來評估。
- (12) 地表狀況常數：表示地表之另一參數，參考使用手冊，將森林定為 0.59，果園定為 0.29，水域為 0。
- (13) 土壤質地：依土壤顆粒大小而概分為四類，即砂粒、粉粒、黏粒及自定。
- (14) 施肥程度：概分四級，分別為無、低、中、高（表 7）。本研究將森林之施肥量定為低，果園定為高等級。
- (15) 肥料有效因子：肥料留存在表土之百分比。
- (16) 點源污染指標：區內是否有點源污染，以 0(無)與 1(有)表示，本研究區域為 0。

表 7. 施肥程度輸入參考表

Table 7. The classification of fertilizer indicator

施肥程度	施肥量				輸入數字
	N (lb/acer)	N (kg/ha)	P (lb/acer)	P (kg/ha)	
無	0	0	0	0	0
低	50	56	20	22	1
中	100	112	40	45	2
高	200	224	80	90	3

資料來源：經濟部水利署北區水資源局，2007。

- (17) 蝕溝源程度：區內是否有蝕溝，以 0(無)與 1(有)表示。
- (18) 化學需氧量因子：依照區內土地利用狀況而分，森林之 COD 值以中等值 65 代入，果園以 170 代入，水域則為 0。
- (19) 積水地指標：區內是否有積水地，以 0(無)與 1(有)表示。
- (20) 渠道指標：區內是否有渠道，以 0(無)與 1(有)表示。

在輸入 AGNPS 模式之參數時，當集水區之土地利用過於複雜，則需每個網格各別作變更，使輸入參數之手續變得繁雜。當網格數多，此情形將變得更嚴重；因此，本研究將 AGNPS 模式結合 WinGrid，藉以改善此問題，以下為 WinGrid 之簡介。

二、WinGrid

WinGrid (林昭遠、林文賜，2001) 為一簡易之集水區分析軟體，可利用 DEM 資料，分析高程、坡度、坡向等參數，其系統介面如圖 3；而萃取集水區地文與水文因子之模組，其流程如圖 4。

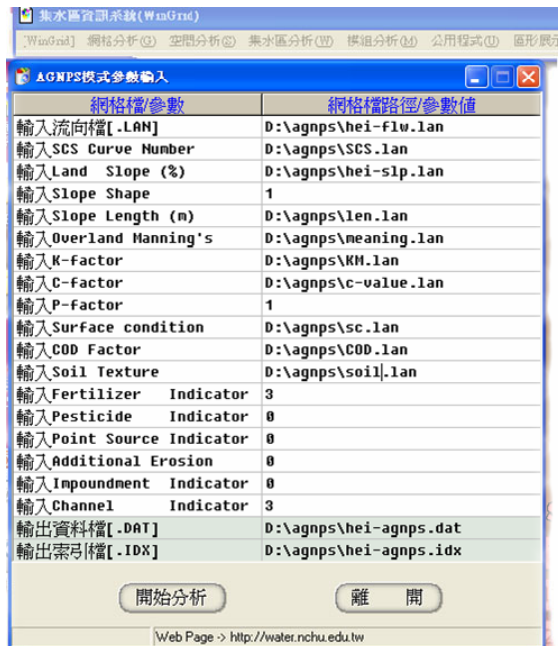


圖 3. 系統畫面

Figure 3 . Menu and sub-menu of the system

WinGrid 的優點如下：

- 簡化 AGNPS 參數之輸入
- 提供圖形展示
- 提供不同資料格式轉檔及分析

材料與分析方法

一、試區概述

霧社水庫集水區位於台灣中部濁水溪上游，支流包含塔羅灣溪及馬海僕溪，隸屬南投縣仁愛鄉，西鄰花蓮縣秀林鄉，全區面積

22,373.28 公頃(圖 5)。霧社水庫集水區地勢高差甚大，高程自 606 公尺至 3,534 公尺之間(圖 6)。集水區之高程由東北向西南遞減。依水土保持技術規範(2003)，將山坡地依坡度分成七級坡，集水區內大多為六級坡($55\% < S \leq 100\%$)，約為 12252.80 公頃，佔集水區總面積 54.77%(圖 7)。其土地利用以闊葉林為主(圖 9)；依美國 SCS (Soil Conservation Service)土壤分類如圖 10。

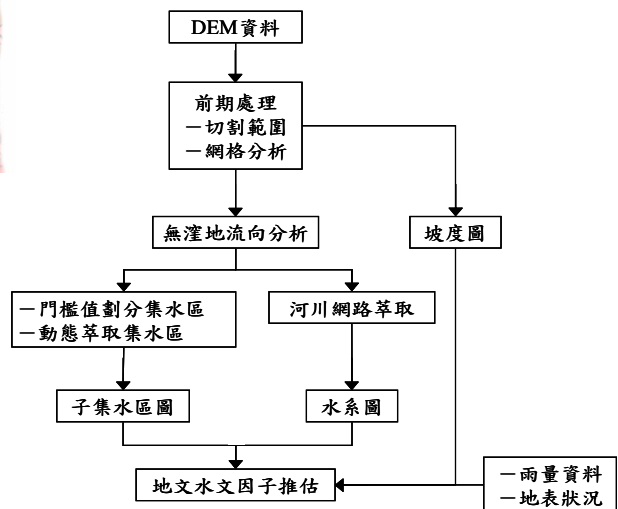


圖 4. 集水區地文與水文因子萃取流程

Figure 4 . Flow chart of extracting topographic and hydrologic factors of watershed

霧社水庫主要由台灣電力公司管理，台電及環保署自西元 1993 年起，針對的霧社水庫集水區進行長期水質監測計畫，以作為集水區污染整治措施的依據。

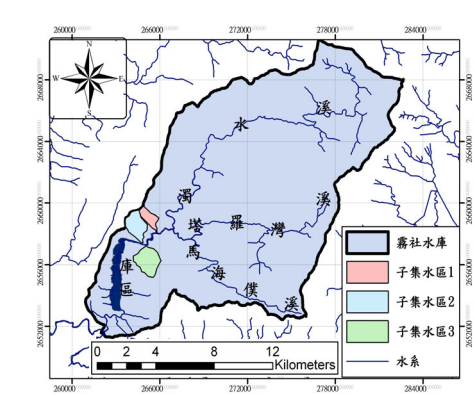


圖 5. 霧社水庫集水區分布圖

Figure 5 . Spatial distribution of Wushe Reservoir Watershed

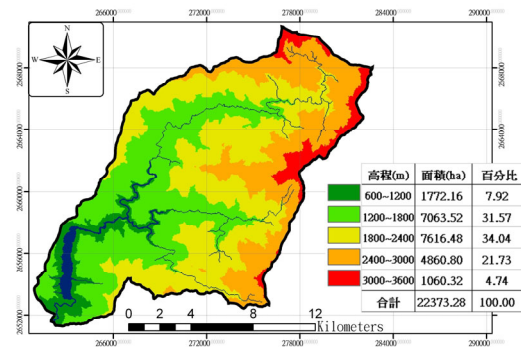


圖 6 高程分布圖

Figure 6 . Spatial distribution of elevation classification

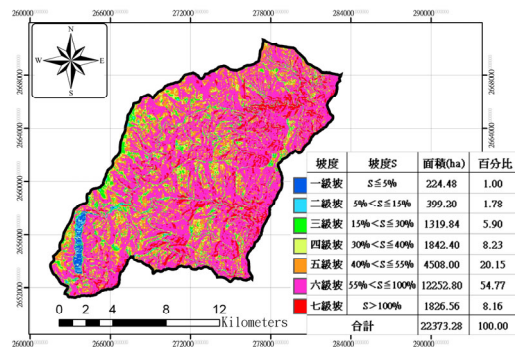


圖 7.坡度分布圖

Figure 7 . Spatial distribution of slope classification

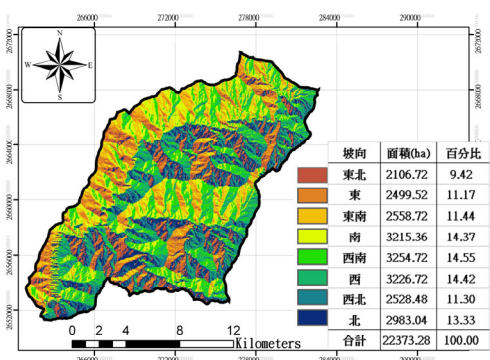


圖 8. 坡向分布圖

Figure 8 . Spatial distribution of aspect classification

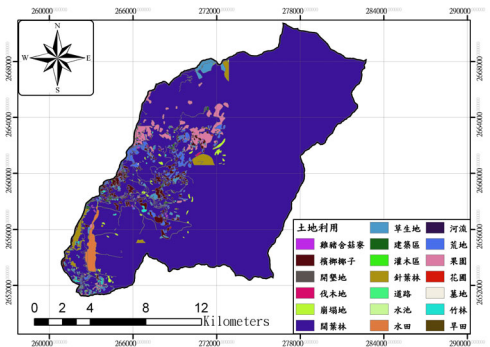


圖 9.土地利用分布圖

Figure 9 . Spatial distribution of land use classification

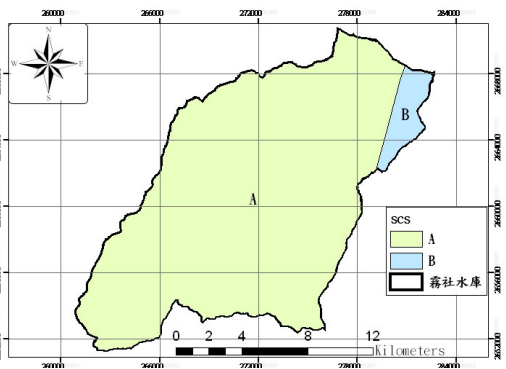


圖 10. SCS 之土壤分類

Figure 10 . Spatial distribution of SCS soil classification

二、研究流程

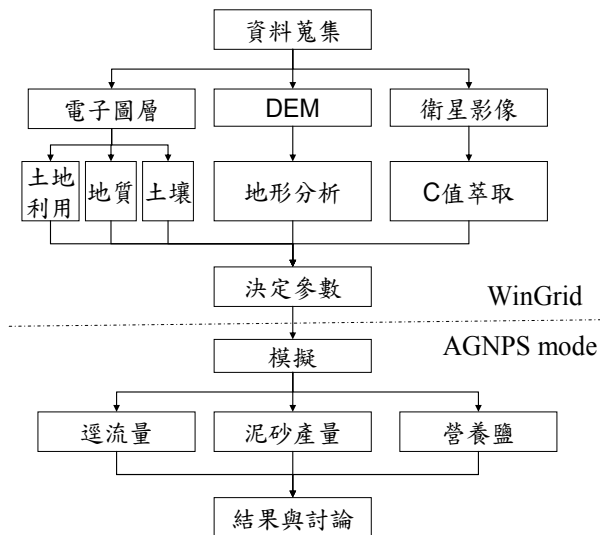


圖 11. 研究流程圖

Figure 11 . Flow chart of the study

三、研究材料

A. 數值高程模型

以林務局農林航測所製作的 40m×40m 解析度之數值高程模型 (Digital Elevation Model, DEM)。以此資料進行地形分析、水系萃取以及動態集水區萃取。

B. 土壤及土地利用分布圖

土壤圖係以台灣省農林廳山地農牧局編印 (山坡地土壤調查報告)；土地利用則依水土保持局 90 年所建立之土地利用圖資，萃取研究範圍內土壤及土地利用資料供 AGNPS 模型參數輸入。

C. SPOT 衛星影像

衛星影像採用法國 SPOT 2005 年 12 月 05 日之衛星影像，萃取 C 值供 AGNPS 模式參數輸入。

D. 最佳管理作業

考慮水庫集水區內農業行為對水庫水質影響甚巨，又果園為集水區內主要土地利用型態，有效減少營養流失及控制農業排放污水，使其在環境所能承受的範圍內，為最重要的課題。

最佳管理作業係以最少成本，達到控制非點源污染的最佳效果。其中利用一些自然或人為的構造物，來控制非點源污染的方法，為結構性最佳管理作業；利用各種管理上的措施，如變更耕作方式等，則為非結構性最佳管理作業。

為維護水庫水質，延長水庫壽命，提出以下方案並以 AGNPS 模式加以模擬 (劉佳芳，2003)

方案 0 集水區現況

方案 1 陡峭區位 (坡度 55%) 以上之農業用地皆回收轉換為林地。

方案 2 水系周邊配置緩衝帶

結果與討論

一、現況模擬

此三個子集水區之分布如圖 12，其主要土地利用為闊葉林 (表 8)，而 1 號及 2 號子集水區之次要土地利用為茶園，且此二集水區之土地利用型態較 3 號子集水區多元。

因為子集水區之個數不足，故無法使用統計多重迴歸分析，僅能針對模擬結果 (表 9)，片面推敲其原因。無論是單位面積之洪峰逕流量抑或單位面積之泥砂產量，1 號及 2

號子集水區之模擬結果皆大於 3 號子集水區之模擬結果；營養鹽的情形亦雷同。

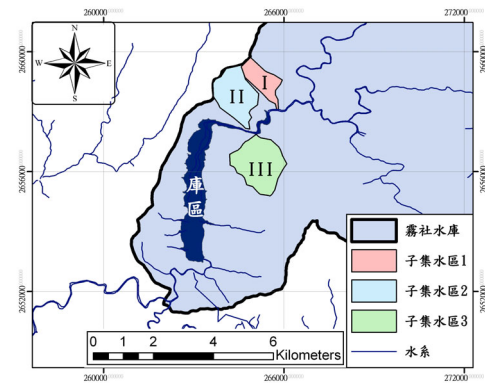


圖 12. 各子集水區分布圖

Figure 12 . Spatial distribution of each sub-watershed

二、最佳管理作業配置

各子集水區內所配置之最佳管理作業如圖 13 及圖 14 所示。其最佳管理作業之配置面積及百分比如表 10 所示。其中 3 號子集水區之面

積最大，卻沒有陡峭區位農地回收之區域。

表 8. 各子集水區土地利用面積百分比

Table 8 . Statistics of land use

土地利用	子集水區面積分布百分比(%)		
	1 號	2 號	3 號
旱田	0.41	1.07	0.00
闊葉林	55.31	52.40	98.40
竹林	0.00	3.18	0.00
灌木區	0.24	0.37	0.00
建築區	1.26	7.03	0.00
茶園	30.61	24.18	0.00
草生地	4.41	3.87	0.00
崩塌地	0.00	0.00	1.12
河流	0.00	0.00	0.48
道路	1.63	2.07	0.00
荒地	4.02	5.06	0.00
伐木地	0.00	0.39	0.00
雞豬舍菇寮	2.11	0.39	0.00

表 9. 各子集水區之 AGNPS 現況模擬結果

Table 9 . Simulation results of AGNPS for each sub-watershed

AGNPS 模擬現況	1 號子集水區		2 號子集水區		3 號子集水區	
	模擬結果	單位面積 模擬結果 (1/ha)	模擬結果	單位面積 模擬結果 (1/ha)	模擬結果	單位面積 模擬結果 (1/ha)
逕流洪峰量(cms)	34.48	0.3574	58.96	0.3050	42.65	0.1779
泥砂產量(ton)	7186.11	74.4829	27283.69	141.1615	229.87	0.9591
泥砂總 N(kg/ha)	72.86	0.7552	119.06	0.6160	0.91	0.0038
泥砂總 P(kg/ha)	36.43	0.3776	59.53	0.3080	0.45	0.0019

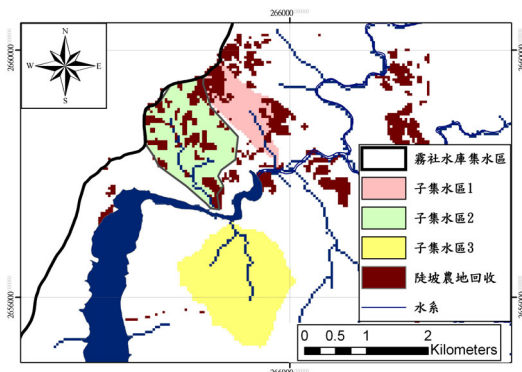


圖 13. 陡峭區位農地回收

Figure 13 . Spatial distribution of the farmland retrieve for reforestation at steep area

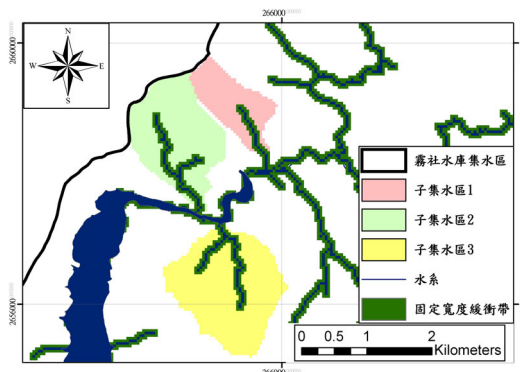


圖 14. 水系周邊緩衝帶配置

Figure 14 . Spatial distribution of the riparian buffer zone

表 10. 各子集水區之最佳管理作業之配置面積及百分比

Table 10 . Statistics of each scenario at each sub-watershed

子集水區 編號	總面積 (ha)	陡峭農地區位 面積(ha)	面積 百分比(%)	水系周邊緩衝帶 面積(ha)	面積 百分比(%)
1	96.48	29.12	30.18	10.56	10.95
2	193.28	51.84	26.82	24.00	12.42
3	239.68	0.00	0.00	22.40	9.35

三、 AGNPS 模式結果討論

AGNPS 之模式模擬成果，分別以不同子集水區及不同最佳管理作業兩種觀點加以討論之。

A. 依子集水區劃分

各個子集水區的立地條件不盡相同，因此藉以相同的子集水區考慮經由不同最管理作業之模擬之成果(表 11~表 13)。模擬結果之比較，若單純使用經模擬後之量化數據，有缺乏代表性之疑慮，因此加入效益百分比及單位面積之改善效率。

$$\text{效益百分比} = \frac{\text{集水區現況} - \text{最佳管理作業配置結果}}{\text{集水區現況}}$$

$$\text{單位面積之改善效率} = \frac{\text{效益百分比}}{\text{最佳管理作業之面積}}$$

針對洪峰逕流量之改善，在 1 號子集水區中，其陡峭區位農地回收之改善效益百分比是優於水系周邊配置緩衝帶之結果，而單位面積之改善效率卻是相反之情形；此現象亦發生於 2 號子集水區。推估其原因可能是陡峭區位農地回收之面積較水系周邊配置緩衝帶面積為大，且水系密度較小所造成。

集水區農業非點源污染評估系統之建立-以霧社水庫為例：陳貞樺、劉昌文、林家榮、林昭遠

針對泥沙產量之改善，其水系周邊配置緩衝帶之改善效益百分比是優於陡峭區位農地回收之結果，而單位面積之改善效率亦是如此；此現象亦發生於 2 號子集水區。針對泥沙總氮、泥沙總磷之改善，不論在 1 號子集水區或 2 號子集水區，其同樣的最佳管理作業竟有相當雷同的效益百分比及單位面積之改善效率，其原因可能是在輸入 AGNPS 之點源污染參數資料較粗略，而無法顯示出模擬後泥沙總氮與泥沙總磷的改善效益；比較不同最佳管理作業對於營養鹽的影響，可看出水系周邊配置緩衝帶對於營養鹽的衰減有直接的成效。

B. 依最佳管理作業劃分

a. 陡峭區位農地回收

依據山坡地土地可利用限度分類標準，將坡度 55% 以上之土地利用變更為林地，相

對於方案 0 (集水區現況)。AGNPS 模式參數輸入方面，二種最佳管理作業方案均為將選取區域之原有土地利用變更為林地，故在逕流曲線值、曼寧粗糙係數、地表植物覆蓋因子、地表狀況常數、施肥程度及化學需氧量因子等參數進行調整。

最佳管理作業之精神係利用最少成本達到最好控制農業非點源污染效果，因此將改善效率除以該方案所佔面積，得到單位面積改善效率。

以 AGNPS 模式模擬集水區現況及陡峭區位農地回收成果，其中只有 1、2 號子集水區內有陡峭農地可回收(表 11~表 13)。端看單位面積之改善效率，其中泥沙產量、泥沙總氮及泥沙總磷的衰減較為明顯，而洪峰量有略微減少，說明農業行為的減少及林地的增加對集水區的正面影響。

表 11. 一號子集水區 AGNPS 模擬成果

Table 11. Simulation results of AGNPS for 1st sub-watershed

1 號子集水區	集水區現況	陡峭區位農地回收模式推估			水系周邊配置緩衝帶模式推估		
	模擬結果	模擬結果	效益百分比	單位面積之改善效率	模擬結果	效益百分比	單位面積之改善效率
逕流洪峰量 (cms)	34.48	33.85	1.83	0.06	33.92	1.62	0.15
泥沙產量(ton)	7186.11	6871.1	4.38	0.15	6740.1	6.21	0.59
泥沙總 N(kg/ha)	72.86	69.94	4.01	0.14	67.91	6.79	0.64
泥沙總 P(kg/ha)	36.43	34.97	4.01	0.14	33.96	6.78	0.64

表 12. 二號子集水區 AGNPS 模擬成果

Table 12 . Simulation results of AGNPS for 2nd sub-watershed

2 號 子集水區	集水區現況	陡峭區位農地回收模式推估			水系周邊配置緩衝帶模式推估		
	模擬 結果	模擬 結果	效益 百分比	單位面積之 改善效率	模擬 結果	效益 百分比	單位面積之 改善效率
逕流洪峰量 (cms)	58.96	54.53	7.51	0.14	56.52	4.14	0.17
泥砂產量(ton)	27283.69	24642	9.68	0.19	20906	23.38	0.97
泥砂總 N(kg/ha)	119.06	108.18	9.14	0.18	94.82	20.36	0.85
泥砂總 P(kg/ha)	59.53	54.09	9.14	0.18	47.41	20.36	0.85

表 13. 三號子集水區 AGNPS 模擬成果

Table 13 . Simulation results of AGNPS for 3rd sub-watershed

3 號 子集水區	集水區現況	陡峭區位農地回收模式推估			水系周邊配置緩衝帶模式推估		
	模擬 結果	模擬 結果	效益 百分比	單位面積之 改善效率	模擬 結果	效益 百分比	單位面積之 改善效率
逕流洪峰量 (cms)	42.65	42.65	-	-	42.39	0.61	0.03
泥砂產量(ton)	229.87	229.87	-	-	174.71	24	1.07
泥砂總 N(kg/ha)	0.91	0.91	-	-	0.71	21.98	0.98
泥砂總 P(kg/ha)	0.45	0.45	-	-	0.36	20	0.89

b. 水系周邊配置緩衝帶

參考水土保持法第二十條，經劃定為特定水土保持區之水庫集水區，其管理機關應於水庫滿水位線起算至水平距離三十公尺或至五十公尺範圍內設置保護帶。將水系周邊配置 40 公尺緩衝帶，相對於方案 0（集水區現況）。

以 AGNPS 模式模擬集水區現況及水系周邊配置緩衝帶成果(表 11~表 13)。以單位面積之改善效率，其中泥砂產量的衰減較為明顯，而洪峰量只有略微的減少，說明水系周邊配置緩衝帶對於泥沙產量的改善是有直接的影響。

結論

集水區農業非點源污染評估系統之建立-以霧社水庫為例：陳貞樺、劉昌文、林家榮、林昭遠

農業非點源污染主要可分為逕流量、泥砂及營養鹽三個部份。一般而言，水土保持問題與土地利用型態息息相關。水土流失量，會因降雨特性、土壤性質、地形及區位等不同，其差異頗大。因此集水區農業非點源污染評估系統之建立就相當重要。

本研究利用 AGNPS 可推估營養鹽及泥砂產量的特性，嘗試對集水區進行最佳管理作業的配置，分別是以陡峭區位農地回收為林地及水系周邊配置緩衝帶，期望能尋求最好的效益供管理者參考。

探討以同一之子集水區進行模擬，針對不同的最佳管理作業之改善效益，不論是逕流洪峰量、泥沙產量、泥沙總氮及泥砂總磷水系周邊配置緩衝帶之單位面積改善效率皆優於陡峭區位農地回收之成果。

若依據最佳管理作業劃分，比較不同子集水區之模擬結果。以陡峭區位農地回收之改善效率而言，其中泥砂產量、泥沙總氮及泥砂總磷的衰減較為明顯，而洪峰量有略微減少，說明農業行為的減少及林地的增加對集水區的正面影響；以水系周邊配置緩衝帶之改善效率而言，其中泥砂產量的衰減較為明顯，而洪峰量只有略微的減少，說明水系周邊配置緩衝帶對於泥沙產量的改善是有直接的影響。

未來可尋求更多不同的最佳管理作業，當然也須考量到實際是否可行，以及是否符合經濟效益；亦可針對集水區基本水文分析，並與 AGNPS 推估最佳管理作業之成果做統計分析，進而了解影響 AGNPS 模擬之敏感度分析。

參考文獻

1. 吳輝龍，「永續利用有良方——談水庫集水區的水土保持」，科學月刊全文資料庫，0256 期（1991）
2. 林昭遠、林文賜，「集水區地理資訊系統」，暉帥股份有限公司出版社（2001）。
3. 林雍富，「應用 BASINS 模式於非點源污染傳輸之模擬—以霧社水庫為例」，國立臺灣大學土木工程學研究所碩士論文（2002）。
4. 夏禹九、陳萱蓉，「農業非點源污染模式應用於河川保護帶配置之探討」，中華水土保持學報，30(1)：1-12 (2000)。
5. 經濟部水利署北區水資源局，「新山、西勢及寶山水庫蓄水範圍及保護帶保育計畫-期末報告」，2007。
6. 萬鑫森、黃俊義，「台灣西北部土壤沖蝕及流失量之估算」，中華水土保持學報，第 12 卷，第一期，第 57-67 頁(1981)。
7. 萬鑫森、黃俊義，「台灣坡地土壤沖蝕」，中華水土保持學報，第 20 卷，第一期，第 17-45 頁(1989)。
8. Dunne, T. and L.B. Leopold (1978) “Water in environmental planning,” New York: WH Freeman.
9. Foster, G. R., L. J. Lane, J. D. Nowlin, J. M. Laflen, and R. A. Young (1981) “Estimating erosion and sediment yield on field-sized areas,” Trans. ASAE 24：1253-1262.
10. Lane, L. J (1982) “Development of a

- procedure to estimate runoff and sediment transport in ephemeral streams,” In recent Developments in the Explanation and Prediction of Erosion and Sediment Yield. pp.275-282. Proc. Exeter Symp. IAHS Publ. 137.
11. Young, R. A., C. A. Onstad, D. D. Bosch, and W.p. Anderson (1989) “AGNPS : A nonpoint-source pollution model for evaluating agricultural watersheds,” Journal of Soil and Water Conservation. 44(2) : 168-173.
12. Wischmeier, W.H. and D.D. Smith, “Predicting rainfall erosion losses”, Agricultural Handbook 537, Agricultural Research Service, United States Department of Agriculture (1978).
-

96 年 8 月 07 日 收稿

96 年 10 月 22 日 修改

96 年 11 月 03 日 接受